

REALIZĂRI ȘI PERSPECTIVE PRIVIND DEZVOLTAREA UNUI CONCEPT DE SERĂ DURABILĂ UTILIZÂND SURSE ALTERNATIVE DE ENERGIE

Gabriel RASOI

INC-DTCSI-ICSI, Rm. Vâlcea, România

Abstract. Cultura plantelor în sistemul de sere și solarii, reprezintă un factor important pentru dezvoltarea sustenabilă a agriculturii, aceasta fiind o soluție viabilă și convenabilă pentru progresul acestui sector, ținând cont de faptul că, există probleme privind dificultatea alimentării cu energie termică și electrică a serelor și solariilor amplasate pe diferite terenuri agricole, care prezintă un climat optim și un potențial crescut de fertilitate, dar, care se situează în zone relativ izolate și îndepărtate față de orice sursă de alimentare cu energie convențională. În acest sens, o soluție eficientă, sigură și ecologică, pentru dezvoltarea durabilă a sectorului de agricultură, este aceea de a utiliza sursele de energie regenerabilă, care sunt gratuite și nelimitate, asigurându-se astfel o bună creștere și dezvoltare a plantelor în toate anotimpurile, mai ales în anotimpul rece. Implementarea conceptelor de eficiență energetică și a sistemelor bazate pe surse regenerabile de energie, sunt necesare pentru o dezvoltare durabilă care trebuie să acopere toate sectoarele economice importante: industrie, transporturi și agricultură.

Cuvinte cheie: surse alternative, seră durabilă, pilă combustie, energie electrică, energie termică.

1. INTRODUCERE

Uniunea Europeană este lider în domeniul tehnologiilor de producere a energiei din surse regenerabile. Aceasta deține 40% din brevetele în domeniul energiei din surse regenerabile la nivel mondial, iar în 2012 aproape jumătate (44%) din capacitatea mondială de producere a electricității din surse regenerabile (cu excepția energiei hidroelectrice) se află pe teritoriul UE. Aproximativ 1,2 milioane de persoane lucrează în prezent în industria energiei din surse regenerabile în Uniunea Europeană.

Legislația UE privind promovarea surselor regenerabile a evoluat în mod semnificativ în ultimii ani. Cadrul politic viitor pentru perioada de după 2020 se află în discuții [1].

Dezvoltarea surselor regenerabile de energie ca resursă energetică globală și nepoluantă este unul din principalele obiective ale politicilor energetice mondiale care, în contextual dezvoltării durabile, au ca scop reducerea consumurilor energetice,

creșterea siguranței în alimentare cu energie, protejarea mediului înconjurător și dezvoltarea tehnologiilor energetice viabile.

Obiectivul principal al utilizării energiilor ecologice și regenerabile îl reprezintă reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și scăderea costurilor cu producerea energiei. Energiile regenerabile (solară, forța apelor, biomasă, eoliană și energia hidrogenului) constituie alternative sigure la resursele fosile. Sursa directă și comună a tuturor surselor regenerative este soarele.

Potențialul de resurse solare, care depășește cu mult potențialul fosil, se caracterizează prin:

- resursele solare sunt inepuizabile (pentru globul pământesc, soarele furnizează de 15.000 ori mai multă energie decât consumul anual de energie atomică sau fosilă; sursa solară poate livra Pământului energie pentru cel puțin cinci miliarde de ani);

- resursele solare sunt integral sau parțial disponibile pretutindeni, presupunând o exploatare descentralizată, regională.

- la transformarea resurselor solare în energie secundară și în materiale secundare (termice, carburanți, electricitate) nu sunt degajate emisii, nepericlitând/protejând mediul înconjurător.

- intervine posibilitatea dezvoltării unui model de civilizație durabilă.

Orientarea spre economia solară mondială necesită o a doua revoluție industrială, în domeniul tehnologiilor energetice, făcând ca dezvoltarea industrială și tehnică a forțelor productive să fie generalizabilă pentru întreaga omenire [2].

Implementarea conceptului de dezvoltare durabilă are ca obiectiv principal dezvoltarea socio-economică. Conceptul de dezvoltare durabilă a fost introdus în 1987, prin Raportul Brundtland „Our Common Future” în care a fost definit astfel: „Dezvoltarea durabilă este dezvoltarea care satisface nevoile prezentului fără a compromite posibilitatea generațiilor viitoare de a-și satisface propriile nevoi.”

Definiția este sintetică și evidențiază esențialul: progresul omenirii trebuie continuat în prezent, viitorul imediat și pe termen lung având în vedere limitele mediului natural de a le putea satisface și faptul că lumea trebuie văzută ca un sistem care conectează spațiul și timpul în cea ce privește producția de bunuri și consumul de resurse.

Energia este principala prioritate a secolului 21, urmată de apă, hrană, mediu, democrație și securitate/siguranță [3].

Energia reprezintă costul cel mai reprezentativ în producția de culturi agricole, în special pentru serele dotate cu sisteme de climatizare. Impactul negativ asupra mediului, sursele limitate de combustibili fosili și un consum ridicat de energie și alimente au determinat creșterea cererii de energie solară ca o alegere ecologică și durabilă.

Creșterea necesarului de consum al populației și a cantității de energie pe plan mondial, a necesitat ca cercetătorii și oamenii de știință să găsească soluții viabile pentru dezvoltarea unor tehnologii energetice inovative, bazate pe utilizarea surselor alternative, pentru furnizarea unei cantități suficiente de energie la costuri scăzute. Mai mult decât atât, schimbările climatice și resursele de apă sărace relevă faptul că,

sistemul de cultivarea în serele dotate cu sistem de climatizare, a devenit un modul pincipal pentru dezvoltarea sectorului agricol. Producția obținută în serele cu sistem de climatizare este realizată profitând de climatul controlat (temperatura aerului, umiditatea relativă și de iluminat), păstrând în același timp costurile operaționale, la un nivel minim [4,5].

2. SURSE REGENERABILE. APLICAȚII DEMONSTRATIVE

Sursele regenerabile de energie (energia solară, energia eoliană, energia hidro-electrică, energia oceanelor, energia geotermală, biomasa și energia hidrogenului) sunt alternative la combustibilii fosili care contribuie la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, la diversificarea ofertei de energie și la reducerea dependenței de piețele volatile și lipsite de fiabilitate ale combustibililor fosili, în special de petrol și gaze.

Energia din surse regenerabile este considerată o energie verde, sau curată, deoarece nu produce substanțe toxice sau poluanți care sunt nocivi pentru mediu. Totodată, sursele regenerabile sunt nelimitate și au un mare potențial de a înlocui sursele convenționale de energie. Utilizarea surselor regenerabile pentru generarea de energie, în mod singular, nu reprezintă o soluție viabilă, întrucât aprovizionarea cu resurse (vânt, soare) nu este continuă.

O combinație a surselor regenerabile prin realizarea unui sistem mixt, reprezintă o soluție durabilă și economică, care ar putea aborda rezolvarea acestor probleme [6-8].

Reducerea consumului de combustibili fosili, prin utilizarea energiei solare, poate contribui la schimbările climatice globale, ca urmare a reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră, și la reducerea impactul utilizării energiei asupra mediu înconjurător [9].

Energia fotovoltaică este o sursă de energie valoroasă, care se obține din surse regenerabile, care sunt inepuizabile și nepoluante. Pentru a fi utilizat într-o gamă largă de aplicații și pentru a satisface constrângerile costurilor, sistemul energetic implementat trebuie să prezinte o bună optimizare a celulelor fotovoltaice, cu o validare practică [10].

Cantitatea totală de energie solară primită la nivelul solului timp de o săptămână depășește energia produsă de către petrol, cărbune, gaze naturale și uraniu în lume. În cele mai multe cazuri, este necesară o conversie (transformare) din energia solară în energie electrică [11].

Energia solară reprezintă o sursă de energie verde și inepuizabilă, costul de producere al acesteia este gratuit, înlocuind cu succes energia convențională pe care de altfel o cumpărăm, reducând astfel o mare parte din costurile de producție [12]. Energia fotovoltaică este produsul de conversie directă a luminii solare în energie electrică cu ajutorul celulelor solare. Conexiunea acestor celule furnizează energia electrică dorită [13].

Utilizarea energiei solare prin intermediul diferitelor panouri și colectoare solare, reprezintă o modalitate eficientă și ecologică, care poate contribui la reducerea costurilor de producție în serele de sine stătătoare [14-16].

Energia liberă de la soare poate fi utilizată pentru încălzirea serele prin colectarea și stocarea energiei termice în perioada sezonului cald de vară și folosirea acesteia în perioada anotimpului rece. Mai mult decât atât, energia solară poate fi utilizată pentru a genera electricitate, prin integrarea unui sistem de panouri fotovoltaice, care se montează pe acoperișul serei [17].

Ca și alte alternative, unii fermieri folosesc surse regenerabile de energie combinate, cum ar fi pompele de căldură solare [18], sisteme de încălzire geotermală, panouri termosolare și fotovoltaice, combustibili derivați din biomasă, pentru încălzirea serelor, ca alternativă la combustibilii fosili care au prețuri foarte ridicate. Cu toate acestea, energia geotermală și biomasă sunt soluții mai specifice, care depind de abundența zonei geografice, în comparație cu energia solară care este inepuizabilă și se poate capta din orice zonă.

Sera este o structură acoperită cu materiale transparente, care utilizează în principal energia solară radiantă, și are rolul de a asigura condiții optime de creștere pentru plante [19].

Există două tipuri de sere agricole care utilizează energie solară pentru încălzire. În primul rând, sunt serele pasive, care sunt concepute pentru maximizarea câștigurilor de căldură solară prin utilizarea unor materiale speciale de acoperire și de structură, utilizate în calitate de colectori solari [20]. În al doilea rând, sunt serele active, care sunt echipate cu sisteme solare care utilizează un sistem de colectare și stocare a căldurii independent, alimentând sera cu o energie termică suplimentară față de energia termică obținută prin încălzirea directă [21, 22].

Este confirmat faptul că randamentul, creșterea și calitatea plantelor sunt situate în intervalul optim de temperatură cuprins între 22 și 28°C în timpul zilei, și în intervalul de 15- 20°C pe timpul nopții. Totodată, s-a demonstrat faptul că, plantele au fost afectate atunci când temperaturile au fost sub 12°C, sau când temperaturile au crescut peste 30°C [23].

Serele care sunt prevăzute cu sisteme de încălzire, care sunt utilizate de obicei în timpul nopților reci și pe parcursul anotimpului de iarnă, prezintă un avantaj semnificativ asupra calității produselor obținute, precum și a reducerii semnificative a timpului de cultivare și recoltare a plantelor.

Pentru menținerea temperaturii mediului ambiant în parametrii optimi pentru dezvoltarea plantelor, este necesară consumarea unor cantități mari de energie termică, ce este de obicei furnizată de către sistemele energetice pe bază de combustibili fosili [24].

Este demonstrat faptul că acoperișul dotat cu panouri fotovoltaice integrate realizează o economie de energie cu o medie de 30%, pentru răcire în perioada de vară, și cu circa 11% pentru încălzirea în perioada de iarnă. Într-un alt studiu, performanța energetică a unui schimbător solar cu panouri fotovoltaice, cuplat cu un tunel subteran cu aer de răcire a fost testată. A rezultat faptul că valoarea medie a diferenței de temperatură între intrarea și ieșirea din sistemul schimbător de căldură pământ-aer (EAHE) a fost de 8,29°C.

Consumul total de energie electrică al acestui sistem a fost de 8,10 kWh, acesta funcționând aproximativ 11 ore/zi, atunci când 34.55% din această cerere de energie a fost asigurată de către celulele fotovoltaice [25].

Într-un studiu indian, Ganguly și colaboratorii [26] au analizat și modelat un sistem energetic integrat pentru o seră, alcătuit din panouri solare fotovoltaice, electrolizor cu membrană polimerică de tip PEM și ansambluri de celule de combustibil. În acest studiu a fost demonstrat faptul că, 51 de module PV, fiecare modul cu o putere de circa 75 W, împreună cu un electrolizor de 3,3 kW și 2 ansambluri de celule de combustibil PEM, fiecare ansamblu cu o putere de 480 W, pot asigura necesarul de energie al unei sere destinată pentru floricultură, având o suprafață totală de 90 m².

În acest sens, având în vedere climatul arid al Arabiei Saudite, au fost studiate și cuantificate, disponibilitatea radiației solare privind cererea de energie electrică, pentru optimizarea funcționării unei sere în condițiile climatice de deșert [27]. Radiația solară în seră depinde de orientarea și poziționarea acesteia, dar, orientarea în sensul est-vest este mai eficientă în colectarea radiației solare în timpul iernii, decât colectarea în perioada de vară [28, 29].

Un factor determinant pentru buna funcționare a serelor îl reprezintă implementarea unui sistem de irigație eficient, în vederea asigurării unei hidratări eficiente a plantelor. În acest sens, asigurarea furnizării energiei electrice pentru echipamentele de pompare, transport și stocare a apei, reprezintă unul dintre cele mai importante obiective.

Un sistem solar de pompare a apei, prezintă numeroase avantaje importante, de exemplu, pe lângă nici un cost pentru combustibil și întreținere, nu prezintă pericol de poluare pentru mediul înconjurător.

Sunt foarte frecvente cazurile când localități situate în mediul rural, care sunt constituite din sate și comune, nu sunt racordate la liniile de distribuție a energiei electrice convenționale, deoarece nu sunt situate în apropierea acestora, fiind amplasate la distanțe considerabile și relativ izolate, astfel încât este aproape imposibilă racordarea acestora la sistemele clasice de distribuție a energiei, datorită costurilor uriașe.

În acest sens, soluția cea mai bună, pentru rezolvarea acestor probleme, o reprezintă utilizarea aplicațiilor energetice la scară redusă, constând în combinații de panouri fotovoltaice cu sisteme de panouri termosolare, acestea asigurând alimentarea serelor cu energie termică, energie electrică și apă, reprezentând o soluție eficientă și rentabilă pentru aceste zone izolate [30].

În figura 1 este prezentat un sistem termosolar utilizat pentru prepararea apei calde menajere și a apei calde pentru încălzire, cu ajutorul conversiei energiei solare.

Biomasa cu un conținut scăzut de umiditate, sub forma de pelete, așchii, sau brichete, poate fi utilizată pentru producerea energiei termice în cadrul serelor, prin convertirea în căldură și CO₂, prin procedee de ardere sau alte procese termochimice, cum ar fi gazeificarea sau piroliza (McKendry, 2002).

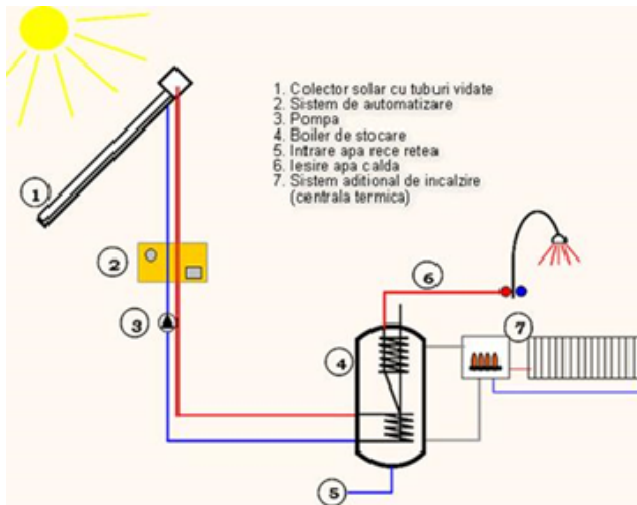


Fig. 1. Sistem termosolar pentru preparare apă caldă (www.finex-energy.ro).

În ultimele decenii, tehnologia de gazeificare a avut o bună dezvoltare, în principal, datorită eficienței sale ridicate, utilizând gazul de sinteză care este combustibil, oferind căldură și energie, iar în plus, realizând conversia termochimică a biomasei, care este mai curată și mai ușor de controlat, în comparație cu arderea directă a combustibililor solizi (Reed și Das, 1988; Quak și colab, 1999. Whitty et al, 2008;.. Caputo et al, 2005. Dion și colab, 2013).

3. CONCEPT DE SERĂ DURABILĂ. STUDIU DE CAZ

În acest capitol este prezentat un studiu de caz privind posibilitatea utilizării principalelor surse regenerabile pentru dezvoltarea unui concept de seră sustenabilă, care utilizează exclusiv aceste resurse pentru producerea energiei termice și electrice. Sera propusă pentru studiu este de tip modular, sub formă de tunel, cu o suprafață utilă de aproximativ 200 m², construcția de bază fiind o structură de arce metalice rotunde. Sera este acoperită în totalitate cu folie dublă, triplustratificată și multiaditivată, tratată UE, EVA, AC.

Pentru o mai bună izolare termică, între straturile de folie se introduce aer, de către un echipament de insuflarea sub presiune, care are rolul de a menține în permanență volumul de aer constant. Se realizează astfel o « pernă » de aer cu grosimea de 15-20cm care permite un câștig de căldură în perioada rece, cât și în perioada caldă. Perna de aer favorizează difuziunea de lumină, având un coeficient de transmitere ridicat, de aproximativ 90%.

În figura 2 este prezentat sistemul de structură pe care se va dezvolta sera, iar în figura 3 este modelul de seră funcțională de tip gotic, cu dimensiunile gabaritice specifice.

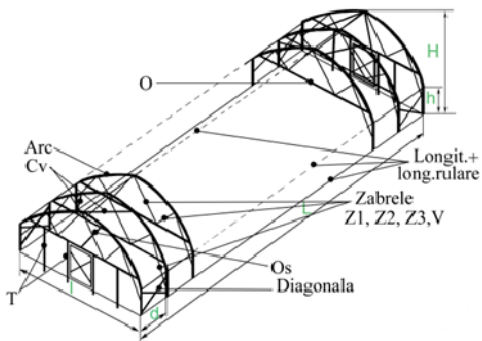


Figura 2. Sistem de structură seră
(www.sere-sodero.ro).

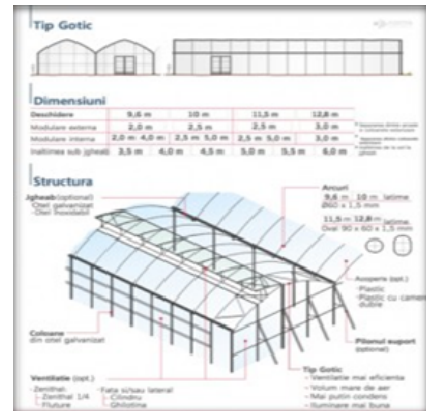


Figura 3. Sera funcțională de tip gotic
(www.sere-natura.ro).

Sistemele de încălzire și răcire reprezintă costuri majore, implicate în producția de cultură a plantelor în sere. În mod uzual, pentru încălzirea serelor se utilizează generatoarele termo-electrice, care consumă cantități mari energie, care este furnizată de obicei prin arderea combustibililor fosili (motorină, păcură, petrol lichid, gaz) [31]. Având în vedere aspectele menționate, o soluție eficientă pentru dezvoltarea durabilă a agriculturii în sistem de sere, o reprezintă înlocuirea combustibililor fosili cu sursele de energie alternative.

Principalele surse de energie alternativă care se vor implementa în cadrul serei pentru furnizarea energiei termice și electrice sunt următoarele:

- energia termo-solară;
- energia obținută din biomasă și lemn solid;
- energia obținută din energetica hidrogenului.

Combinarea inovativă a acestor surse regenerabile, se va concretiza în realizarea unui sistem energetic pentru producerea energiei, care poate asigura necesarul energetic al unei sere agricole, obținând astfel un climat optim dezvoltării plantelor.

În figura 4 este prezentată schema de principiu al unui sistem de producere a energiei din surse regenerabile, care este implementat în cadrul unei sere bio-organice. În acest mod, este asigurat tot necesarul de energie termică și electrică utilizat pentru necesitățile curente ale acestei sere.

Sistemul are în componență următoarele echipamente principale:

- centrala termică pe bază de lemn solid și biomasă, cu o putere termică de 75 kW, randament de până la 95%, care poate să susțină necesarul energetic cu până la 70%, cu mențiunea că acest echipament funcționează cu precădere în sezonul rece;
- sistem de panouri termosolare cu tuburi vidate, cu o suprafață de 10 m², putere termică de 3200 kWh, eficiență optică de 65%, care asigură producerea apei calde menajere și de încălzire;
- sistem de panouri fotovoltaice, putere maximă totală de 3 kW, care asigură producerea energiei electrice în proporție de până la 85%;

lor le-ar putea permite atingerea ponderii de 30 până la 50 % din piață, către jumătatea secolului.

Dezvoltarea în continuare a sistemelor de pile de combustie ar putea permite dezvoltarea unei „economii a hidrogenului“, bazată pe tehnologii curate și nepoluante, în vederea producerii energiei. Hidrogenul este un vector de energie verde, care probabil va fi principala sursă de energie nepoluantă în viitorul apropiat.

5. CONCLUZII

În ultimii ani, utilizarea resurselor de hrană, apă și energie au devenit o problemă esențială, în special în zonele rurale, unde marea majoritate nu au posibilitatea de racordare la rețelele de electricitate, apă sau gaze, dar care prezintă un potențial de surse regenerabile foarte bun, în special energie solară, energie eoliană și biomasă. Datorită diferitelor impedimente de ordin socio-economic, aceste surse regenerabile sunt insuficient exploatate și utilizate de către omenire.

La nivel global, din cauza creșterii populației și implicit a nevoilor de hrană și apă, sunt estimate creșteri importante ale consumului de energie în agricultură.

Implementarea surselor regenerabile de energie, în special a energiei solare și biomasei, va duce la rezolvarea acestor probleme, prin asigurarea furnizării unei energii ieftine și ecologice, destinate în special serelor agricole, care utilizează o cantitate apreciabilă de energie pentru buna funcționare a sistemelor de răcire, încălzire, iluminare și irigare. Mai mult decât atât, utilizarea energiei verzi, va duce la sustenabilitatea serelor agricole, la creșterea eficienței energetice, la creșterea producției de alimente și la asigurarea aprovizionării cu o energie ieftină și nepoluantă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Parlamentul European, ”Energia din surse regenerabile”, Fișe tehnice UE – 2016.
- [2] Mircea Bejan, Tiberiu Rusu, Ioana Bălan, *Prezentul și viitorul energiei, Partea a II-a. Energii regenerabile. Perspective tehnologice.*
- [3] U. S. Department of Commerce, United States Census Bureau, U.S. and World Population Clock, available online at: <http://www.census.gov/>.
- [4] Beyhan B, Paksoy H, Daşgan Y. *Root zone temperature control with thermal energy storage in phase change materials for soilless greenhouse applications.* *Energy Convers Manag* 2013;74:446–53.
- [5] Bot G, VandeBraak N, Challa H, Hemming S, Rieswijk TH, van Straten G, Verlodt I. *The solar greenhouse: state of the art in energy saving and sustainable energy supply.* *Acta Horti (ISHS)* 2005;691:501–8.
- [6] Erdinc O, Uzunoglu M. *Optimum design of hybrid renewable energy systems: overview of different approaches.* *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16(3): 1412e25.

- [7] Deshmukh MK, Deshmukh SS. *Modeling of hybrid renewable energy systems*. Renew Sustain Energy Rev 2008;12(1):235e49.
- [8] Nema P, Nema RK, Rangnekar S. *A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: a review*. Renew Sustain Energy Rev 2009;13(8):2096e103.
- [9] Ozgener O, Hepbasli A. *Experimental performance analysis of a solar assisted*.
- [10] F.Z.Zerhouni, M.Zegrar, S.Kaddour Brahim et A.BoudghéneStambouli, *Optimization of a green energy system with practical validation*, Journal of Renewable Energy Vol.11 No. 1, pp. 41 to 49.2008.
- [11] Baromèter prepared by Observ'ER, Photovoltaïc energy baromèter, the Scop of EurObserv'ER project, N° 160, pp 69-83, April 2004.
- [12] H. Ibrahim, A. Ilinca et J. Perronv, *Energy storage systems-Characteristics and comparisons*, University of Quebec at Chicoutimi, in January 2007.
- [13] [www.web-libre.org/.../centrale-solaire photovoltaïque](http://www.web-libre.org/.../centrale-solaire-photovoltaïque) the text.
- [14] von Zabeltitz C. *Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2011.
- [15] Sethi VP, Sharma SK. *Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications*. Sol. Energy 2008;82(9): 832–59.
- [16] Abdel-Ghany AM, Al-Helal IM. *Solar energy utilization by a greenhouse: general relations*. Renew. Energy 2011;36(1):189–96.
- [17] Horticulture WU. *Energiek2020 WU. Greenhouse as a source of energy* (<http://www.energiek2020.nu/en/home/>)
- [18] *Ground-source heat pump greenhouse heating system*. Energy Build 2005; 37(1):101–10.
- [19] Panwar NL, Kaushik SC, Kothari S. *Solar greenhouse an option for renewable and sustainable farming*. Renew Sustain Energy Rev 2011;15:3934–45.
- [20] Bot G, VandeBraak N, Challa H, Hemming S, Rieswijk TH, van Straten G, Verlodt I. *The solar greenhouse: state of the art in energy saving and sustainable energy supply*. Acta Hortic (ISHS) 2005;691:501–8.
- [21] Sethi VP, Sumathy K, Lee C, Pal DS. *Thermal modeling aspects of solar greenhouse microclimate control: a review on heating technologies*. Sol Energy 2013;96:56–82.
- [22] Santamouris M, Balaras CA, Dascalaki E, Vallindras M. *Passive solar agricultural greenhouses: a worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes*. Sol Energy 1994;53:411–26
- [23] Castilla N, Hernandez J. *Greenhouse technological packages for high quality production*. Acta Hortic 2007;761:285–97.
- [24] Chinese D, Meneghetti A, Nardin G. *Waste-to-energy based greenhouse heating: exploring viability conditions through optimisation models*. Renew Energy 2005;30(10):1573–86.
- [25] Yıldız A, Ozgener O, Ozgener L. *Energetic performance analysis of a solar photovoltaic cell (PV) assisted closed loop earth-to-air heat exchanger for*

- solar greenhouse cooling: an experimental study for low energy architecture in Aegean Region.* Renew Energy 2012;44:281–7.
- [26] Ganguly A, Misra D, Ghosh S. *Modeling and analysis of solar photovoltaic electrolyzer-fuel cell hybrid power system integrated with a floriculture greenhouse.* Energy Build 2010;42:2036–43.
- [27] Al-Ibrahim A, Al-Abbadi N, Al-Helal I. *PV greenhouse system, system description, performance and lesson learned.* Acta Hortic (ISHS) 2006;710:251–64.
- [28] Rosa R, Silva AM, Miguel A. *Solar irradiation inside a single span greenhouse.* J Agr Eng Res 1989;43:221–9.
- [29] Abdel-Ghany AM. *Solar energy conversions in the greenhouses.* Sustain Cities Soc 2011;1:219–26.
- [30] Meah K, Fletcher S, Ula S. *Solar photovoltaic water pumping for remote locations.* Renew Sustain Energy Rev 2008;12:472–87.
- [31] Chai L, Ma C, Ni J-Q. *Performance evaluation of ground source heat pump system for greenhouse heating in northern China.* Biosyst Eng 2012;111:107–17.